

레이저 평탄성장비를 사용한 공항활주로 종단 평탄성지수 측정개선에 관한 연구(I)

The study on the improvement of measuring longitudinal roughness index for airport runway using a laser profilometer

박기순* 손형호** 전현욱***
Park, Key Soon Son, Hyung Ho Jun, Hyun Wook

ABSTRACT

This study was performed to improve the evaluation of the longitudinal roughness index for various profilometers at airport runway. Especially, a laser type of profilometer subjected to the longitudinal roughness index has been focused. The test result show that a new type of profile index, IRI(International roughness index) resulted from a laser type of profilometer was profitable for airport runway etc.. The present study provides useful results for the improvment of evaluation of the conventional profile index.

1. 서론

도로나 활주로 노면의 요철 또는 평탄성은 차륜이 고속으로 주행할 경우 차량의 주행성, 승차감, 안정성등에 큰 영향을 미치게 된다⁽¹⁾. 노면의 평탄성 확보는 이러한 공용성 측면외에도 포장구조의 내구성과도 밀접한 관계에 있어 나라별로 독자적으로 개발한 포장유지관리시스템의 입력 매개변수(Parameter)로서 활용되기도 한다. 그러나, 국가별로 측정장비 및 평가되는 평탄성지수가 상이하어 포장 평탄성에 대한 과학적이고 정량적인 평가가 명확하지 못한 실정에 있었다. 이에 1982년 WORLD BANK의 주관으로 국제평탄성지수(International Roughness Index:IRI)가 제정⁽²⁾되어 유럽지역은 포장 공사시방서에 IRI기준치를 반영할 뿐 아니라 미국의 경우 '90년초에 ASTM에 새로히 시험방법이 제정되는등 전세계에 걸쳐 포장 평탄성평가에 관한 신개념이 본격적으로 반영되고 있는 상황에 있으나, 국내의 경우 종래에 사용해온 평탄성 평가방법을 그대로 사용하고 있어 이에 대한 개선방안이 시급한 실정에 있다.

본 연구에서는 국내에서 널리 사용해온 7.6m 프로파일미터로 측정한 평탄성지수(PrI)와 최근에 개발되어 정밀도나 기능면에서 성능을 인정받은 레이저형 평탄성측정장비를 이용하여 실제 주행시험을 실시하여 신개념의 평탄성지수인 IRI값과의 비교 및 정밀도등의 차이를 규명하고자 하였으며, 이를 향후

* 신공항건설공단 공항건설기술연구실 건설시험소 건설시험과장
** 정회원, (주)유신코퍼레이션 인천국제공항 AIRSIDE감리단, 차장
*** (주)유신코퍼레이션 인천국제공항 AIRSIDE감리단, 주임

공항 활주로공사의 노면 중단평탄성 평가의 개선기법으로 효율적으로 활용할 수 있는 방안에 대하여 고찰하였다.

2. 노면 중단평탄성에 관한 국내외 연구동향

도로나 활주로 노면의 중단평탄성(Longitudinal profile roughness)을 측정하는 장비는 그림 1에서와 같이 나라별로 상이할 뿐만 아니라, 측정장비나 평가방법이 진일보하는 과정을 보이고 있다.⁽³⁾

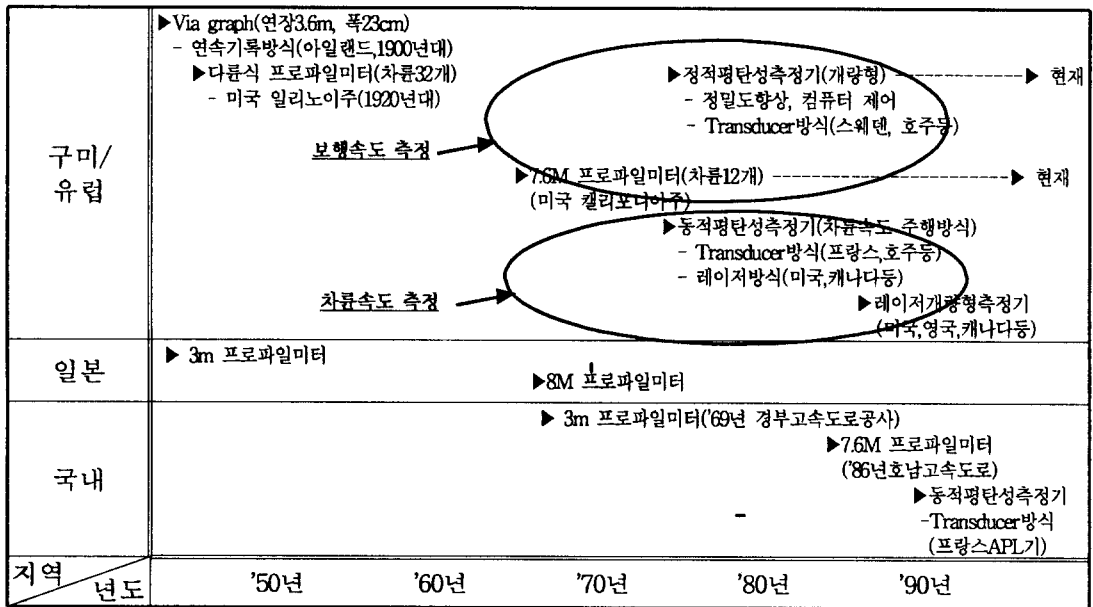


그림 1 중단평탄성 측정장비 및 평가방법 연혁

이러한 배경에서 포장면의 평탄성기준에 관한 국제표준화의 시도가 1982년 WORLD BANK의 주관으로 브라질 브라질리아에서 미국, 프랑스, 캐나다 등 5개국가가 참여하는 프로젝트로 실시되었다.

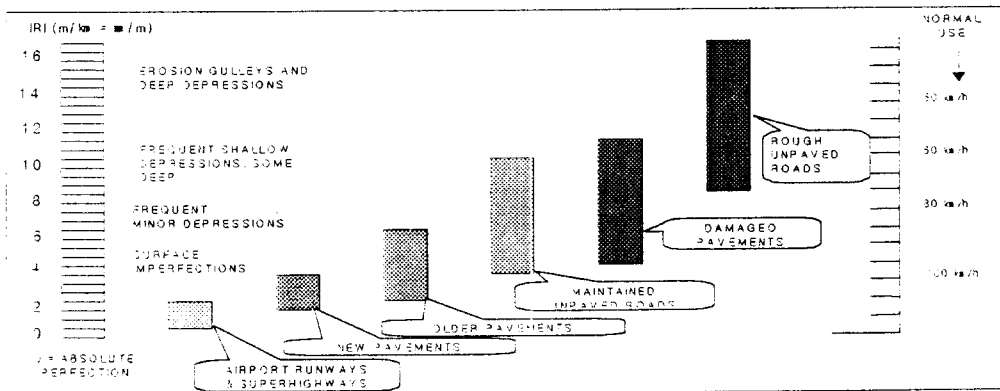


그림 2 WORLD BANK 프로젝트에서 제시한 각종 포장면의 IRI 기준치⁽²⁾

그림 2는 본 프로젝트의 수행결과로서, 어떠한 포장면 상태나 측정장비라 하더라도 평탄성을 정량적으로 표준화하여 구할 수 있는 통계적 개념의 국제평탄성지수(IRI)가 제시되었다. 그림 2의 결과를 살펴보면 신설포장의 경우 $1.5 \leq IRI \leq 3.5$ 의 범위, 공항이나 고속도로 포장의 경우 $0.5 \leq IRI \leq 2.0$ 의 범위를 보이고 있는데, 일반적으로 공용초기의 IRI는 교통량이 적기 때문에 낮은 값을, 공용연수가 증가할수록 포장노면의 평탄성이 공용초기보다 저하하기 때문에 상대적으로 IRI값이 증가하여 큰 값을 나타낸다. 이와 같이 IRI는 포장초기에서 보수가 필요한 시기까지의 포장품질 이력을 파악하는데 활용될 수 있어 각국에서는 포장 유지관리시스템의 매개변수(Parameter)로서 IRI값(포장균열, 미끄럼저항값등을 포함)을 사용하고 있으며, 국내도 한국도로공사에서 이에 관한 종합적인 연구가 진행중에 있다.

3. 현장주행실험

3.1 실험조건

주행실험에서는 IRI값에 영향을 미치는 주행속도의 요인을 파악하기 위하여 먼저 표 1의 주행속도를 실험변수로 하여 설정속도 $\pm 10\%$ 내로 일정하게 하여 ASTM E 950, E 1448 방법에 만족하도록 동일구간을 10회 반복주행을 실시하였다.

표 1 실험에 사용한 노면 중단평탄성 측정기기(레이저형 및 7.6M Profilometer)

측정기기	시험기기 제원 및 성능	주행속도 (km/hr)	측정간격 (cm)	측정거리	측정대상
레이저형프로파일기 (캐나다 R사 제품)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 레이저센서부 ○ 신호감지부 ○ 주행차량부 	<ul style="list-style-type: none"> 40±5 60±5 80±5 	25	1.0km	인천국제공항내 아스콘포장구간 (연장 6.08km)
7.6M Profilometer (국내 A사 제품)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 거리:1/300축척 ○ 수직:실거리기록 	보행속도유지	*중단도기록방식		

3.2 평탄성 평가

국내에서 종래에 사용해 온 PrI는 건설교통부 제정 「포장설계시공·지침」⁽⁴⁾에 의하면, 식(1)과 같이 측정된 파형에 대하여 상하 $\pm 2.5\text{mm}$ 의 띠(Blanking band)를 벗어난 형적의 합계를 측정된 거리로 나눈 값으로 정의하고 있으나, ASTM E 1274(Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph)에는 형적이 띠와 만나는 양끝점 사이의 거리의 합으로 나누어 평탄율(Rate of Roughness)로서 정의하는 점이 국내와는 다른 개념의 평탄성 평가방법이라 할 수 있다. 한편, IRI는 식(2)와 같이 각측정점에서의 정류경사(Rectified slope)의 합을 측정점수로 나눈 값으로 정의하고 있다. 그러나, IRI의 실제 계산에서는 시뮬레이션된 수학적모델(Quarter car model)을 알고리즘화하여 컴퓨터프로그램에 의해 계산되어 진다.

$$\text{즉, PrI} = \frac{\sum (h_1+h_2+h_3+\dots+h_n)}{\text{총측정거리}} \quad (1), \quad \text{IRI} = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \text{RS}_i \quad (2)$$

이러한 IRI의 계산은 WORLD BANK나 인터넷에 공개된 프로그램이나 ASTM E 1364 부록서의 참고프로그램에 의해 구할 수도 있으나, 측정점수가 방대하여 대부분 측정에 사용한 장비의 컴퓨터 소프트웨어로부터 자동적으로 구하게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 레이저형 평탄성측정기 주행속도가 IRI 측정에 미치는 영향

레이저형 평탄성 측정기기를 이용하여 1km의 동일구간을 속도 3수준으로 10회 반복주행하여 IRI의 측정결과 및 경향을 각각 표 2 및 그림 3,4에 나타내었다.

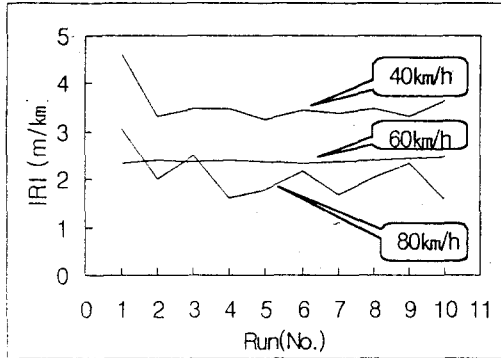


그림 3 주행속도별 반복 IRI비교
(주행속도 40,60,80km/hr)

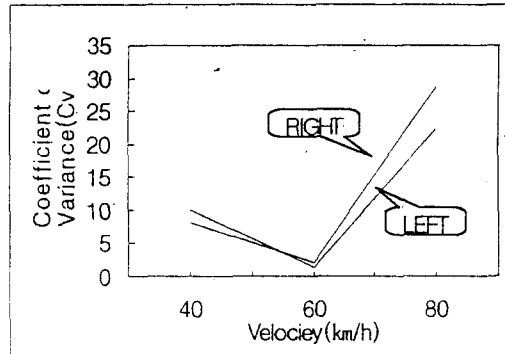


그림 4 주행속도별 IRI 변동계수 변화

표 2 주행속도별 평탄성 반복시험 결과

No.	Vp	Vp=40km/hr			Vp=60km/hr			Vp=80km/hr		
		Vpavg.	IRI _{left}	IRI _{right}	Vpavg.	IRI _{left}	IRI _{right}	Vpavg.	IRI _{left}	IRI _{right}
1		41.4	4.60	4.95	60.5	2.34	3.42	82.2	3.05	3.01
2		41.3	3.33	3.54	60.9	2.39	3.52	81.7	2.00	1.93
3		40.8	3.48	4.07	60.8	2.37	3.49	80.9	2.49	2.53
4		41.1	3.49	4.10	60.2	2.40	3.50	80.7	1.60	1.52
5		41.0	3.27	4.01	60.6	2.38	3.58	81.5	1.76	1.62
6		40.6	3.47	4.02	61.6	2.34	3.55	81.4	2.16	2.03
7		41.1	3.40	4.09	61.1	2.37	3.56	81.9	1.68	1.47
8		40.3	3.49	4.27	60.8	2.41	3.67	81.3	2.04	2.01
9		40.9	3.33	3.97	61.7	2.44	3.61	80.6	2.33	2.22
10		40.7	3.64	4.21	60.5	2.46	3.63	80.6	1.59	1.46
R		1.1	1.33	1.41	1.5	0.12	0.25	1.6	1.46	1.54
Mean		40.9	3.55	4.12	60.9	2.39	3.55	81.3	2.07	1.98
σ		0.38	0.35	0.33	0.48	0.03	0.07	0.51	0.46	0.57
Cv		0.9	9.9	8.0	0.08	1.3	2.0	0.6	22.2	28.8

(*) R:범위(Range), σ :표준편차(Standard deviation), Cv:변동계수(Coefficient of Variance)

표 2의 결과로 부터 동적평탄성측정기의 동일구간 반복주행시험으로 얻은 IRI값의 통계치를 이용하여 측정에 사용한 기기의 정밀등급이나 표준 주행속도를 선정하는데 활용할 수 있는데, 동일구간의 반복 IRI값으로 부터 얻은 변동계수(Coefficient of Variance)가 최소가 되는 주행속도는 그림 3,4에서 나타난 바와 같이 약 60km/h가 적절하며, 이 속도에서의 변동계수는 1.3~2.0%로서 매우 정밀한 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 7.6M 프로파일미터 및 레이저형 평탄성장비 측정결과의 비교

국내 포장평탄성지수의 평가기준인 PrI값의 경우, 기록된 종단면도상의 ±2.5mm 띠내에 있는 단면은 PrI 계산에 포함되지 않기 때문에, 만약 종단면도가 주행구간내에서 모두 이 범위에 있다면 "PrI=0"라는 불합리한 평탄성지수값이 발생하게 된다. 이러한 모순 때문에 통상 종단면 data는 ASTM E1364의 주행평탄성장비의 등급을 만족하는 표준 반응형장비로 교정(Calibration)을 하게 된다. 이때 표준의 평탄성지수(Standard roughness index)로서 IRI값을 이용하여 원래의 종단면 평탄성(Raw profile roughness)은 수학적, 또는 통계적인 정량화된 지수로서 표현이 가능해진다. 일반적으로 원래의 종단 평탄성지수는 다음의 모델로서 교정될 수 있는데 이러한 교정식(Calibration equation)은 통계 처리에 의하여 구해지며 ASTM E1448 부록에 일예가 소개되어 있다.

$$SRI = \beta_0 + \beta_1 * RTSN + \beta_2 * RTSN^2 + \beta_3 * RTSN^3 + \dots = \sum_{i=0}^n [\beta_i * RTSN^i] \quad \text{---(3)}$$

여기서, SRI : 표준평탄성지수(Standard roughness index)로서 IRI, HRI등이 이용
 RTSN: 반응형시스템 측정값(Response type system number)으로서 주행거리에 대한 평탄성(roughness)값으로 cm/km 또는 counter/km 등의 단위

표 3 구간별 PrI 및 IRI 측정결과

Station No.	PrI (cm/km)	Modified PrI (mm/mm)	Vp=40km/hr		Vp=60km/hr		Vp=80km/hr	
			IRI _{LAVG}	IRI _{RAVG}	IRI _{LAVG}	IRI _{RAVG}	IRI _{LAVG}	IRI _{RAVG}
45~52.5	11.33	2.46	3.06	3.29	1.30	1.38	1.18	1.27
52.5~60	5.33	2.96	3.14	3.43	1.29	1.36	1.23	1.36
60~67.5	4.00	1.82	2.35	2.66	1.36	1.25	1.33	1.17
67.5~75	6.67	2.78	2.86	3.16	1.16	1.23	1.05	1.13
75~82.5	1.33	2.50	2.83	3.05	1.27	1.41	1.34	1.31
82.5~90	6.00	2.65	2.95	2.87	1.51	1.79	1.66	1.78
90~97.5	3.33	2.78	3.32	3.22	1.46	1.52	1.55	1.56
97.5~105	15.33	2.84	3.47	3.06	1.27	1.22	1.49	1.32
105~112.5	6.67	2.22	3.32	3.23	1.83	1.56	1.69	1.50
112.5~120	8.67	3.02	3.12	3.08	1.47	1.30	1.47	1.19
120~127.5	3.33	2.63	3.28	3.20	1.68	1.63	1.54	1.48
127.5~135	6.67	3.57	3.45	3.32	1.71	1.28	1.40	1.40
135~142.5	9.33	1.56	2.89	2.95	1.31	1.46	1.37	1.47
142.5~150	10.0	2.68	2.98	2.76	1.87	1.50	1.85	1.62
150~157.5	8.00	3.33	2.92	2.90	1.50	1.38	1.51	1.40
157.5~165	5.33	2.67	3.08	3.22	1.55	1.50	1.51	1.37
165~172.5	11.33	3.86	3.44	3.20	1.54	1.48	1.41	1.39
172.5~180	8.00	2.50	2.95	3.28	1.41	1.62	1.42	1.61
180~187.5	5.33	1.38	2.74	2.86	1.45	1.29	1.44	1.48
187.5~195	14.0	1.94	3.00	3.18	1.50	1.68	1.45	1.69
전체평균	7.49	2.61	3.06	3.10	1.47	1.44	1.44	1.42

그림 5,6은 현재 국내에서 사용하고 있는 PrI 및 ASTM방법으로 구한 Modified PrI를 각각 IRI와 회귀분석한 결과를 비교한 것으로서 국내방법의 PrI는 IRI와 상관관계가 저조하게 나타난 반면, ASTM의 방법은 다소 상관계수는 떨어지나 선행 연구결과⁽⁵⁻⁷⁾와 유사한 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 PrI의 경우, 발생하는 roughness의 높이-거리비(순간 노면 기울기)에 상관없이 총주행구간에 대한 roughness합의 비로 정의됨으로써 IRI와 같이 어느 한 측정점의 노면의 기울기변화를 계산할 수 없는데 기인한 것으로 판단된다.

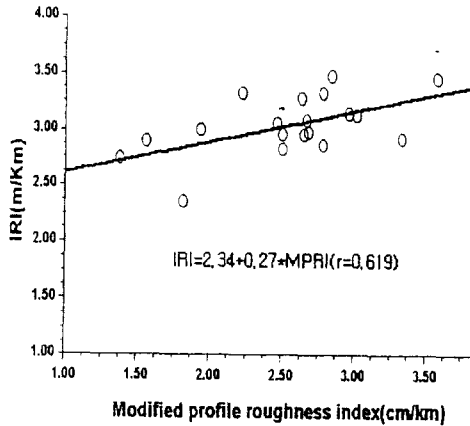


그림 5 IRI 및 개량 PrI(ASM방법)의 관계

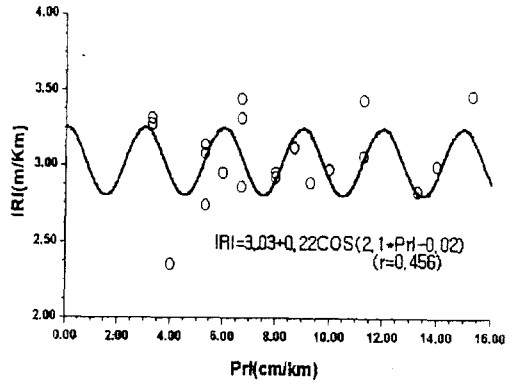


그림 6 IRI 및 종래 PrI의 관계

5. 맺는말

- (1) 포장평탄성 주행시험 결과, 반복주행시험에서 IRI값의 정밀도확보를 위한 적정 주행속도는 약 60km/hr로서 이때의 변동계수는 1.3~2%의 높은 정밀도를 나타내었다.
- (2) 국내 PrI 계산법 및 ASTM방법과의 IRI와의 상관성은 ASTM방법이 비교적 선형관계를 유지함으로써, 레이저형 평탄성장비를 이용한 검정(Calibration)이 가능한 것으로 판단되었다.
- (3) 도로포장은 물론 향후 활주로포장 평탄성평가에 대한 국내기준은 PrI를 적용하고 있는 실정므로 국제적으로 공인된 표준 평탄성지수인 IRI 평가방법을 병행(관리치: $0.5 \leq IRI \leq 2.0$, WORLD BANK기준)할 경우, 개항이후 활주로 유지관리시 보조장비로 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.
- (4) IRI평가방법이 구미, 유럽지역등에서는 이미 70년대에 적극 활용되고 있을 뿐만 아니라 시험규격도 이미 제정되어 있어, IRI 측정방법에 대한 KS규격 제정이 필요한 것으로 생각된다.

<참고문헌>

1. 市原薫, "路面の凹凸", 交通工學技術書院
2. M.W.Sayers, T.D.Gillespie, and C.A.V.Queiroz, "International Experiment to establish correlations and standard calibration methods for Road Roughness Measurements", World Bank Technical Paper No.45, 1986
3. Christopher R.Bennet, "Calibration Road Roughness Meters", <http://www.romdas.com>
4. 건설교통부, "도로포장설계, 시공지침"
5. M.W.Sayers, T.D.Gillespie, and C.A.V.Queiroz, "The International Road Roughness Experiment: A Basis for Establishing a Standard Scale for Road Roughness Measurement" Transportation Research Record 1084, 1986, pp. 76-85.
6. 안성순, "포장도로의 노면평탄성평가방법에 대한 연구", 공학석사학위논문, 한양대학교산업대학원, 1989
7. "International Roughness Index", <http://www.umtri.umich.edu/erd/roughness/iri.html>